

Т.Г.Ткаченко, асп.

Одеський державний екологічний університет

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ В БАСЕЙНІ Р.СІВЕРСЬКИЙ ДОНЕЦЬ

У статті наводяться результати узагальнення характеристик та методика розрахунку максимального стоку весняного водопілля в басейні р.Сіверський Донець.

Ключові слова: *весняне водопілля, схиловий приплив, трансформаційна функція, русло-заплавне регулювання.*

Вступ. Максимальний стік весняного водопілля річок України займає особливе місце в гідрологічних розрахунках, бо з ним пов'язані надзвичайно високі рівні і витрати води, які ведуть до затоплення територій. Враховуючи важливість цього явища, запропонована велика кількість методів і розрахункових формул для визначення характеристик максимального стоку, в тому числі й на регіональному рівні. Найбільш відомими є рекомендації, які наводяться в нормативному документі СНиП 2.01.14-83. В їх основі лежить напівемпірична редуційна модель, яка за дослідженнями Є.Д.Гопченка [1,2] відповідає геометричній схематизації гідрографів одномодальних паводків і весняного водопілля. Стосовно басейну р.Сіверський Донець, ретельні дослідження були виконані Є.Д.Гопченком, В.А.Овчарук [3], які обґрунтували методику розрахунку в рамках генетичної теорії А.М. Бефані [4]. В цих роботах достатньо повно описуються процеси формування максимального стоку, але як в нормативному документі СНиП 2.01.14-83, так і в монографічному виданні [3] узагальнені дані спостережень лише до 1980 - 1985 рр. Тому, враховуючи важливість проблеми розрахунку максимального стоку весняного водопілля, а також те, що за останні роки накопичились, суттєво змінилися і поповнилися часові ряди, актуальним є удосконалення науково-методичної бази для нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р.Сіверський Донець.

Матеріали та методи дослідження. При обчисленні характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р.Сіверський Донець були використані результати систематичних спостережень на 79 постах Гідрометеорологічної служби з періодами від 91 року на р.Сіверський Донець – м.Лисичанськ (1893-1910 рр, 1926-2000 рр.) до коротких рядів (менше 10 років) - р.Сухий Ізюмець – м.Ізюм, р.Оскол – с.Сорокіно, р.Лугань – с.Байрак та інших. Середня тривалість часових рядів складає 29 років. У цілому ж ряди більше 20 років мають 55 постів, що складає 65 % від загальної їх кількості, з них 17 мають періоди спостережень від 41 до 60 років (20%), 4 – понад 61 рік (5%). Водозбори річок охоплюють діапазони площ від 31,0 (р.Ломоватка – с.Алмазна) до 73200 км² (р.Сіверський Донець – с.Кружилівка).

Пости у межах території басейну розміщені порівняно рівномірно. Вихідні дані запозичені з опублікованих матеріалів в Ресурсах поверхневих вод (до 1980 року), з гідрологічних щорічників (до 1990 року) та з архівів Державного центру з гідрометеорології (до 2000 року).

За теоретичну базу береться математична модель операторного типу, запропонована Є.Д.Гопченком [5]. Вихідна структура має вигляд:

$$q_m = q'_m \psi(t_p / T_0) \varepsilon_F, \quad (1)$$

де q'_m - максимальний модуль схилового припливу;

$\psi(t_p / T_0)$ - трансформаційна функція, зумовлена розпластуванням повеневих хвиль під впливом часу руслового добігання t_p ;

ε_F - коефіцієнт русло- заплавного регулювання.

Максимальний модуль схилового припливу визначається за формулою

$$q'_{1\%} = 0,28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_{1\%}, \quad (2)$$

де $\frac{n+1}{n}$ - коефіцієнт нерівномірності схилового припливу;

T_0 - тривалість схилового припливу талих вод до руслової мережі;

$Y_{1\%}$ - розрахункові шари стоку весняного водопілля 1%-ї забезпеченості.

Трансформаційна функція розпластування повеневих хвиль визначається в залежності від співвідношення t_p / T_0 за рівняннями:

а) при $t_p < T_0$

$$\psi(t_p / T_0) = 1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \left(\frac{t_p}{T_0}\right)^n, \quad (3)$$

б) при $t_p > T_0$

$$\psi(t_p / T_0) = \frac{n}{n+1} \frac{T_0}{t_p} \left[\frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)} \left(\frac{T_0}{t_p}\right)^m \right], \quad (4)$$

в) при $t_p / T_0 = 0$

$$\psi(t_p / T_0) = 1,0, \quad (5)$$

де m - показник степеня у рівнянні кривих ізохрон руслового добігання;

t_p - тривалість руслового добігання.

Останній вираз є фізичною межею значень коефіцієнтів розпластування $\psi(t_p / T_0)$.

Обґрунтування параметрів розрахункової методики. Одним з основних розрахункових параметрів при визначенні потенційного максимуму стоку весняного водопілля є модуль схилового припливу q'_m . Як видно з (2), він визначається шаром схилового стоку $Y_{1\%}$, формою схилового гідрографа та тривалістю схилового припливу талих вод до руслової мережі. Результатом узагальнення шарів стоку є відповідна карта, наведена на рис. 1. При побудові цієї карти ізолінії проведені через 20 мм. Відзначається зменшення шарів стоку з півночі та північного заходу в напрямку на південь і південний схід від 220 до 80 мм. Область пониженого стоку утворена, з

одного боку, основним потоком р.Сіверський Донець і р.Оскол, з іншого - вона обмежена відрогами Середньоруської височини. В міжріччі шари стоку знижуються до 80-100 мм. Область замкнутих ізоліній (пониженого стоку - до 80-100 мм) утворена також у міжріччі р.Сіверський Донець та річок Камишна, Глибока, що пов'язано з низинним рельєфом місцевості. Підвищеними значеннями максимальних шарів стоку (до 200-220 мм) характеризуються ділянки басейну, обмежені північно-західними відрогами Середньоруської височини. Річки, які беруть початок на Середньоруській височині, мають підвищені значення шарів стоку. Деяке зменшення шарів стоку простежується у напрямку на північний схід. В порівнянні з картою У_{1%}-ї забезпеченості, яка наведена в Ресурсах поверхневих вод [6], запропонована карта, наведена на рис. 1, детальніше відображає особливості розподілу розрахункових шарів стоку і відбиває загальний характер повеневого стоку в басейні р.Сіверський Донець.



Рисунок 1 – Просторовий розподіл розрахункових шарів стоку весняного водопілля 1% - ймовірності перевищення в басейні р.Сіверський Донець.

Наведена карта в деяких деталях відрізняється від тієї, що раніше була запропонована автором статті [7]. Це зумовлено головним чином використанням значно більшого обсягу вихідних даних.

Серед інших параметрів вихідної формули (1) найбільш складними є ті з них, що пов'язані зі схиловим припливом, тобто йдеться про коефіцієнт нерівномірності

схилового припливу $\frac{n+1}{n}$ та тривалість схилового припливу T_0 . Як відомо, на існуючій гідрометеорологічній мережі вимірювання цих характеристик не здійснюється. Тому в роботі використано підходи, які свого часу були запропоновані на кафедрі гідрології Одеського державного екологічного університету та спираються на матеріали спостережень стаціонарної мережі гідрологічних постів. Зокрема, коефіцієнт нерівномірності схилового припливу $\frac{n+1}{n}$ визначається як верхнє граничне значення відповідних коефіцієнтів нерівномірності руслового стоку $(\frac{m_1+1}{m_1})$. З цією метою по всіх постах були розраховані величини $(\frac{m_1+1}{m_1})$, виходячи з співвідношення:

$$\left(\frac{m_1+1}{m_1}\right) = \frac{\bar{Q}_m \bar{T}_m}{\bar{Y}_m F}, \quad (6)$$

де $\bar{Q}_m, \bar{Y}_m, \bar{T}_m$ - середні багаторічні величини максимальних витрат води, шарів стоку і тривалості весняного водопілля.

За цими даними була побудована залежність коефіцієнтів нерівномірності руслового стоку від площ водозборів, яка потім була проєкстропольована на вісь ординат, а отримане значення $\left(\frac{m_1+1}{m_1}\right)_{F \rightarrow 0} = \frac{n+1}{n} = 5$, відповідно $n = 0,25$.

Тривалість схилового припливу визначалась числовим шляхом на основі рівнянь, запропонованих Є.Д.Гопченком [2] в рамках відомої формули А.М.Бефані. В залежності від співвідношення t_p/T_0 були визначені операторні рівняння для знаходження T_0 ітераційним шляхом:

а) при $t_p < T_0$

$$T_0 = \left\{ \left[(n+1)T_0^n - \frac{m+1}{n+m+1} t_p^n \right] \left(\frac{\varepsilon_F Y_m}{nq_m} \right) \right\}^{\frac{1}{n+1}}; \quad (7)$$

б) при $t_p \geq T_0$

$$T_0 = \left[\left(\frac{m+n+1}{n+1} - \frac{q_m}{\varepsilon_F Y_m} t_p \right) \frac{m(n+m+1)}{n+1} t_p^m \right]^{1/m} \quad (8)$$

За тривалість схилового припливу талих вод до руслової мережі р.Сіверський Донець в першому наближенні береться 170 годин. В дослідженнях [3] як розрахункове взято середнє значення $T_0 = 165$ год.

Взявши це значення T_0 , можна визначити з (1) зворотним шляхом коефіцієнт русло-заплавного регулювання ε_F , тобто

$$\varepsilon_F = \frac{q_{1\%}}{q'_{1\%}} / \psi(t_p / T_0). \quad (9)$$

Узагальнення ε_F здійснено в залежності від розмірів водозборів. У розрахунковому вигляді

$$\varepsilon_F = e^{-0,34 \lg(F+1)}. \quad (10)$$

Для визначення часу руслового добігання t_p при обчисленні $\psi(t_p / T_0)$ використана регіональна формула швидкості, запропонована автором [8]

$$V_0 = 0,47 F^{0,28} I^{0,36}, \quad (11)$$

де I - середньозважений уклон;
 F - площа водозборів.

На другому етапі досліджень при визначенні з формул (7) або (8) тривалості схилового припливу T_0 , коефіцієнти русло-заплавного регулювання ε_F визначались за формулою (9). В цілому в межах басейну р.Сіверський Донець T_0 змінюється в досить широких границях – від 48 (р.Калитва –с.Погорелів) до 341 год. (р.Ольхова – м.Луганськ).В басейнах річок Євсюг, Деркул, Лугань простежується збільшення T_0 до 250-340 годин. Це пояснюється тим, що річки, які стікають з північних схилів Середньоруської височини, потрапляють в зони приповерхневих карстових областей. Деяке підвищення значень T_0 простежується на річках, які стікають із північно-західних схилів Донецького кряжу. Зокрема, в басейнах річок Бахмутка, Ольхова та інших тривалість схилового припливу становить до 200-300 годин. Тривалість схилового припливу в верхів'ях р.Сіверський Донець та нижній частині басейну, тобто в областях, де карст не впливає суттєво, T_0 змінюється в межах від 48 до 150 годин. Узагальнення T_0 виконується по одному з двох існуючих варіантів: шляхом побудови карти та районування території. При картуванні необхідною умовою є існування залежності тривалості схилового припливу поталих вод до руслової мережі від географічної широти, яка визначається по центрах тяжіння водозборів річок. Проведений аналіз показав, що в цілому є тенденція до збільшення T_0 у напрямі збільшення широти, але виражена вона досить слабо. Крім широтного положення водозборів на T_0 можуть впливати й такі місцеві фактори як залісеність, заболоченість, озерність та рельєф місцевості. Що стосується висотного положення водозборів, то воно коливається в межах від 120 до 260 м. Залежність тривалості схилового припливу від середньої висоти водозборів виражена не досить чітко. Залісеність, заболоченість, озерність не досить поширені в межах басейну р.Сіверський Донець, бо він знаходиться головним чином у лісостеповій і степовій зонах. Межа між ними проходить з заходу на схід по лінії с.Старовірівка на південь від м.Зміїв ($f_{л}=12\%$) – м.Балаклія – м.Куп'янськ ($f_{л}=7\%$) і на північ долиною р.Оскол ($f_{л}$ змінюється від 4 до 9%), а далі повертає на с.Валуйки і с.Олексіївку ($f_{л}=12\%$). Середній показник лісистості, обчислений у межах досліджуваної території за даними 79 водозборів, складає близько 4% і коливається у межах від 0 (р.Мала Каменка – с.Волченський, р.Глибока – с.Тарасовський, р.Березова – с.Твердохлібов, р.Бритаї - с.Тихопілля та інші) до 25% (р.Велика Бабка – с.П'ятницьке). Заболоченість і озерність в басейні р.Сіверський Донець менше 1%. Таким чином, за відсутності залежності T_0 від широтного положення водозборів достатніх підстав, щоб остаточно з'ясувати

можливість картування цього параметра, так і для врахування комплексу місцевих факторів, немає.

Для здійснення можливості районування параметра T_0 було розраховано критерій нормальності Гаусса

$$\sigma / \rho = \sqrt{\pi / 2} \approx 1,25, \quad (12)$$

де σ - середньоквадратичне відхилення, тобто

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (T_{0i} - \bar{T}_0)^2}{N - 1}}; \quad (13)$$

ρ - середньоарифметичне відхилення, причому

$$\rho = \frac{1}{N} \sum |T_{0i} - \bar{T}_0|, \quad (14)$$

де T_{0i} - тривалість схилового припливу водозборів ;

\bar{T}_0 - середня тривалість схилового припливу;

N - кількість водозборів.

За сукупністю 70 водозборів встановлено, що $\sigma=64,4$, $\rho=51,8$ а співвідношення σ/ρ становить 1,24, що фактично відповідає теоретичному значенню σ/ρ . Це свідчить про практично випадкову зміну T_0 по території.

Зауважимо, що в окрему категорію виділені закарстовані водозбори, для яких тривалість припливу вища ніж на більшій частині території. Для них $T_0 = 240$, а для незакарстованих водозборів - 148 год. Саме ці величини і запропоновані для використання їх при розрахунках максимального стоку за формулою (1). Перевірені розрахунки показали, що похибки знаходяться на рівні вихідної інформації з максимального стоку ($\sigma_{Q_{1\%}} = 20,4\%$).

Висновки. На підставі всебічного аналізу відомих розрахункових схем в галузі максимального стоку автором використана операторна модель, яка дає змогу врахувати весь комплекс стокоутворюючих факторів весняного водопілля в басейні р.Сіверський Донець. Здійснено уточнення розрахункових величин шарів стоку весняного водопілля 1% -ї ймовірності перевищення і тривалості схилового припливу талих вод до руслової мережі. Запропонована методика доведена до рівня практичного використання, що дає змогу запровадити її замість діючого в Україні застарілого нормативного документа СНиП 2.01.14-83. Точність розрахунків максимальних витрат води в басейні р.Сіверський Донець за формулою (1) знаходиться в межах $\pm 20,9\%$.

Список літератури

1. Гопченко Е.Д. Обоснование параметров редукционной формулы для расчета максимального стока // Водные ресурсы.- 1976.- вып. 4.- с.34 – 40.
2. Гопченко Е.Д. О редукции максимальных модулей дождевого стока по площади // Метеорология, климатология и гидрология .-1975.- вып. 12. - с.66-71.

3. Гопченко Е.Д., Овчарук В.А. Формирование максимального стока весеннего половодья в условиях юга Украины.- О.,ТЭС, 2002.- 111с.
4. Бефани А.Н. Основы теории ливневого стока // Труды ОГМИ, 1958,Ч 2.- вып.XIV.- с.306.
5. Гопченко Е.Д., Романчук М.Е. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности.- К., КНТ, 2005.-148с.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР.Том 6.Украина и Молдавия, вып.3,Бассейн Северского Донца и рек Приазовья.- Л., Гидрометеиздат , -1967. - 490с.
7. Гопченко Є.Д., Ткаченко Т.Г. Розподіл шарів стоку весняного водопілля в басейні р.Сіверський Донець // Вісник ОДЕКУ , – 2005.- вып.1.- с.127-134.
8. Ткаченко Т.Г. Обґрунтування розрахункової формули швидкості руслового добігання повеневих хвиль в басейні р.Сіверський Донець // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2005.- вып. 49.- с.439- 445.

Методика расчета максимального стока весеннего половодья в бассейне р.Северский Донец. Ткаченко Т.Г.

В статье приводятся результаты обобщения характеристик и методика расчета максимального стока весеннего половодья в бассейне р.Северский Донец.

Ключевые слова: *весеннее половодье, склоновый приток, трансформационная функция, русло-пойменное регулирование.*

The methods of the calculation of the maximum sewer of the spring high water in pool r.Severskiy Donec. Tkachenko T.G.

The results of the generalization of the features and methods of the calculation of the maximum sewer of the spring high water counter-productive In article in pool r.Severskiy Donec.

Keywords: *spring high water, declivity influx, transformational function, riverbed- caughted regulation.*